

Sieć teleinformatyczna dla transportu kolejowego w Polsce

Stanisław GAGO¹

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie wpływu światowego rozwoju systemów informatycznych i logistycznych na planowanie i rozwój sieci teleinformatycznej dla transportu kolejowego w Polsce. Obecnie, spółka PKP PLK buduje sieć teletransmisyjną, przede wszystkim na potrzeby systemu ERTMS. Zdaniem autora, kolejowa sieć teleinformatyczna powinna być tak zaplanowana, aby mogła zapewnić obecne i przyszłe zapotrzebowanie na transmisję danych dla wszystkich spółek kolejowych, które w zakresie usług teleinformatycznych umożliwią rozszerzenie wpływu tych spółek na inne rodzaje transportu.

Słowa kluczowe: sieci IT dla kolejnictwa, model logiczny sieci, model fizyczny sieci

1. Wstęp

Dynamika rozwoju transportu oraz współpraca z innymi instytucjami i przedsiębiorstwami powodują, że transport nie może odstawać od trendów światowego rozwoju w dziedzinie stosowania rozwiązań teleinformatycznych (IT). Wspólną cechą systemów IT, a szczególnie systemów tworzonych na potrzeby transportu jest to, że obejmują one swoim działaniem duże obszary, a tym samym muszą korzystać z sieci transmisji danych, która jest jednym z podstawowych składników obecnych systemów IT. Transport jest jednym z elementów łańcucha logistycznego, w którego skład wchodzi ponadto:

- wielofunkcyjny system usług logistycznych,
- zintegrowany system teleinformatyczny.

Warunkiem poprawnego działania centrum logistycznego jest przekazywanie aktualnych informacji pomiędzy wymienionymi systemami, które są coraz mocniej związane ze sobą i stale się rozwijają. W logistyce są obecnie prowadzone prace nad poszukiwaniem systemowego rozwiązania, które umożliwi zwiększenie efektywności realizacji procesów i rozwój logistyki przy równoczesnym uzyskaniu równowagi ekonomicznej, socjalnej i środowiskowej. Tym rozwiązaniem ma być tzw. „Fizyczny Internet” (PI), który łączy infrastrukturę komunikacyjną z wykorzystaniem do transportu modułowych znormalizowanych jednostek ładunkowych oraz wymianą danych o zachodzących procesach logistycznych [3].

Rozwijające się techniki i technologie IT stają się obecnie głównym i koniecznym narzędziem działalności gospodarczej. Szczególnie ważne jest wykorzystanie wszystkich możliwości techniki IT w przedsiębiorstwach o strukturze sieciowej. Do takich przedsiębiorstw należy zaliczyć prawie wszystkie spółki kolejowe, a także inne przedsiębiorstwa transportu szynowego i drogowego.

Bardzo duże znaczenie dla rozwoju i zarządzania techniką IT będzie miał praktycznie już tworzony w technologii 5G Internet Rzeczy (aplikacji) tzw. *Internet of Things* (IoT), który umożliwi lepsze wykorzystanie systemów informatycznych i telekomunikacyjnych przez udostępnienie nowych funkcjonalności, zwiększenie wydajności, automatyzacji i także przez zwiększenie szybkości przesyłanych danych, niezbędnych do podejmowania decyzji w czasie rzeczywistym.

Internet Rzeczy będzie służył do zarządzania, zbierania i przekazywania danych między systemami lub urządzeniami wyposażonymi w komputery połączone z Internetem. Jest to kierunek, który daje szansę na budowę inteligentnego taboru, Inteligentnych Systemów Transportowych (ITS) i który będzie wspierał także spółki kolejowe w dziedzinie świadczenia usług transportowych. Internet Rzeczy jest rozwiązaniem wspomagającym i doskonalącym uzyskiwanie aktualnych danych, obarczonych mniejszą liczbą błędów. Bez wdrożenia w niedługim czasie nowych, innowacyjnych rozwiązań w przedsiębiorstwach transportowych, trudno będzie uzyskać poprawę wyników ekonomicznych i utrzymać się na rynku tych usług.

¹ Dr inż., Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki; e-mail: sgago@ikolej.pl.

Internet Rzeczy (IoT) jest polem rozwoju licznych innowacji, które mogą wspomagać nie tylko przedsiębiorstwa transportowe, ale także wspierać klienta i jego biznes. Ta sieć ma największe szanse na integrację i współpracę różnych sieci i systemów IT. Szczególnie ważne jest to w branży kolejowej ze względu na charakter działalności, która dotyczy całego obszaru objętego usługami i polega na przemieszczaniu środków transportu, ludzi oraz ładunków [3].

W Polsce transport kolejowy nie tylko powinien nadążać za rozwojem transportu kolejowego w Europie, ale również za rozwojem innych gałęzi transportu lądowego. Jednym z warunków tego rozwoju będzie posiadanie nowoczesnych systemów teleinformatycznych (*Cloud Computing*, *Big Data* itd.), które umożliwią współpracę spółek kolejowych nie tylko między sobą, ale także z partnerami z zagranicy, umożliwią wprowadzenie nowych usług IT dla swoich klientów i w ten sposób zapewnią im lepsze zaspokojenie ich potrzeb transportowych. W celu realizacji tych zamierzeń, konieczne jest zbudowanie odpowiedniej sieci teleinformatycznej wykorzystującej współczesne technologie IT, które charakteryzują się coraz większą funkcjonalnością i wydajnością oraz zmniejszającymi się kosztami inwestycyjnymi i operacyjnymi.

2. Przesłanki do opracowania projektu sieci IT dla PKP

Kolejowa sieć teleinformatyczna powinna być dostosowana do struktury transportu kolejowego w Polsce. Struktura ta składa się z wielu spółek infrastrukturalnych, przewozowych towarowych, przewozowych pasażerskich, a także spółek świadczących odpowiednie usługi dla wymienionych spółek, jak np. usługi telekomunikacyjne, informatyczne oraz utrzymanie infrastruktury.

Z wielu względów technicznych, eksploatacyjnych, ekonomicznych i organizacyjnych, powinna być budowana jedna wspólna sieć w celu zaspokojenia potrzeb wszystkich spółek kolejowych, w czym może pomóc utworzenie holdingu spółek kolejowych. Sieć powinna być otwarta na rozwój wynikający z:

- rozwoju sieci kolejowej (np. projektowane linie kolejowe związane z budową Centralnego Portu Komunikacyjnego (CPK) tzw. „szprychy”, reaktywacja wybranych linii kolejowych, zmiany w relacjach ruchu pasażerskiego (tendencje wzrostowe), zmiany w ruchu towarowym (zmniejszony przewóz węgla wynikający z potrzeb redukcji CO₂), rozwijający się transport modalny (np. Jedwabny Szlak);
- postępu technicznego, np. rozwój sieci teleinformatycznych: FRMCS, IoT, sieci 5G, w dalszej kolejności 6G;

- z informatyzowania eksploatacji oraz utrzymania infrastruktury i taboru (ciągły monitoring);
- rozwój monitoringu urządzeń i systemów zapewniających bezpieczeństwo (*security*) obszarów kolejowych (m.in. systemy ppoż., systemy „swój – obcy”, sieci AdHoc).

Przed przystąpieniem do opracowania projektu sieci teleinformatycznej należy przede wszystkim rozpoznać i ustalić oczekiwania przyszłych użytkowników sieci w różnych perspektywach czasowych:

- w pierwszym okresie po oddaniu sieci do użytku,
- po kilkuletniej eksploatacji sieci (3–5 lat),
- w dalszej perspektywie czasowej (np. około 10 lat).

Poczynione założenia i przesłanki dotyczące projektowanej sieci powinny być skonsultowane ze specjalistami (znającymi obecną technikę i jej rozwój oraz technologię budowy sieci teleinformatycznych), którzy powinni ocenić realność poczynionych założeń, zarówno pod względem technicznej, jak i ekonomicznej.

3. Założenia do planowania sieci IT dla PKP

Teoretycznie, planowanie sieci teleinformatycznej powinno rozpocząć się od stworzenia logicznego modelu sieci teleinformatycznej i utworzenia fizycznego modelu sieci na bazie tego modelu. W praktyce, w modelu logicznym, powinny być uwzględniane pewne, istniejące w terenie uwarunkowania fizyczne, np. istniejące już trakty światłowodowe. Do istniejących traktów światłowodowych można np. zaliczyć, układane wzdłuż torów kolejowych na potrzeby systemu GSM-R, kable światłowodowe o pojemności 36 włókien o łącznej długości kilkunastu tysięcy kilometrów, tworzące pewną architekturę sieciową, która powinna być uwzględniona w modelu fizycznym sieci teleinformatycznej. Innym uwarunkowaniem jest (będzie) budowa linii kolejowych dużych prędkości, związanych z planowaną budową Centralnego Portu Komunikacyjnego (CPK).

3.1. Stan istniejący w środowisku kolejowym

Transportem kolejowym w Polsce zajmuje się wiele spółek handlowych, ale najbardziej liczącą się grupą są spółki grupy PKP (PKP PLK, PKP IC, PKP Cargo i inne), a każda z tych spółek ma swoje plany, które niekoniecznie muszą być spójne z interesami pozostałych spółek. Nie można również pomijać udziału w transporcie kolejowym spółek, które nie należą do grupy PKP i świadczą usługi przewozowe zarówno w zakresie ruchu towarowego, jak i pasażerskiego, korzystając z infrastruktury PKP, jak np. Orlen, Szybka Kolej Miejska (SKM). Inną grupą spółek zajmujących się transportem

kolejowym są spółki, które mają własną infrastrukturę i własny tabor np. spółka LHS, Pomorska Kolej Miejska (PKM) i inne. Usługi przewozowe świadczone przez spółki kolejowe można podzielić na:

- ruch pasażerski (ruch lokalny, regionalny, międzyregionalny, dalekobieżny,
- ruch towarowy (PKP Cargo i wielu innych przewoźników, przewożących różnego rodzaju materiały bezpieczne, niebezpieczne lub chemiczne).

Te usługi mogą być świadczone dzięki udostępnieniu odpowiedniej infrastruktury zarządzanej przez spółkę PKP PLK, która świadczy również usługi w zakresie sterowania, kierowania i zarządzania ruchem kolejowym.

Praktycznie każda ze spółek ma swoje priorytety i różne obszary zainteresowania (ruch lokalny, dalekobieżny, pasażerski, towarowy, wielomodalny i wydzielone linie kolejowe). Wiele spółek przewozowych eksploatuje, a także utrzymuje własną infrastrukturę, np. stacje postojowe, budynki dworców kolejowych, stacje przeładunkowe, jak np. Terespol – Małaszewicze (duży teren, dźwigi, suwnice, wózki, lokomotywy manewrowe, magazyny). Dodatkowo cechą kolejowego ruchu towarowego jest to, że przewozy są realizowane z reguły dla klientów „niekolejowych”, takich jak np.: porty, kopalnie, zakłady chemiczne, co powoduje konieczność wymiany informacji między przewoźnikami i klientami.

Inną grupą systemów, zapewniających bezpieczeństwo spółek i klientów kolei, są systemy monitoringu terenu, infrastruktury kolejowej, taboru, pasażerów oraz systemy ochronne (systemy przeciwpożarowe, kradzieży i włamania, „swój – obcy”) i systemy informacyjne (dynamiczna informacja dla podróżnych, rozkłady jazdy) [7].

W celu zapewnienia bezpieczeństwa pasażerów i przewożonych towarów, wybrane spółki kolejowe współpracują z państwowymi służbami (np. SOK, służby celne, służby fitosanitarne, policja, straż graniczna, pogotowie ratunkowe) oraz z partnerami zagranicznymi w celu obsługi zarówno ruchu pasażerskiego, jak i towarowego (np. ruch przygraniczny, przewozy multimedialne).

W kolejnictwie można wyróżnić trzy podstawowe obszary biznesowe:

- 1) infrastruktura kolejowa,
- 2) ruch towarowy,
- 3) ruch pasażerski.

Każdy z tych obszarów ma swoje, niepokrywające się ze sobą, priorytety biznesowe rozmieszczone w różnych punktach sieci kolejowej:

- infrastruktura – np. węzły i linie kolejowe, wiadukty, mosty, systemy bezpiecznej jazdy pociągów,

- ruch pasażerski – np. dworce w miastach, pojazdy trakcyjne, wagony, składy zespolone,
- ruch towarowy – np. stacje towarowe, bocznicę, lokomotywy, wagony towarowe.

W tych obszarach działalność prowadzi wiele przedsiębiorstw kolejowych:

- W obszarze infrastruktura największym operatorem sieci kolejowej jest Spółka PKP PLK. Oprócz tej Spółki działają też inni operatorzy infrastruktury kolejowej, np. PKP SKM, PKM, PKP LHS, PKP WKD.
- W obszarze przewozów towarowych zarejestrowano kilkadziesiąt firm, wśród których liderem jest spółka PKP Cargo, a dużymi podmiotami spółki Lotos Kolej, CTL Logistics, PKP LHS.
- W obszarze przewozów pasażerskich zarejestrowano kilkanaście firm: do największych przewoźników zalicza się spółkę PKP Intercity, Przewozy Regionalne, Koleje Mazowieckie.

Kolejowe spółki przewozowe (pasażerskie i towarowe) prowadzą działalność na terenie całej Polski lub tylko na ograniczonym terenie, np. na terenie określonego województwa lub nawet tylko na określonej linii kolejowej. Z tego względu sieć IT powinna zapewniać wszystkie wymagania w wymienionych obszarach w zakresie topologii i w zakresie ruchu teleinformatycznego w odpowiedniej perspektywie czasowej.

3.2. Przesłanki do rozwoju usług teleinformatycznych w kolejnictwie

Każda spółka kolejowa musi się rozwijać zgodnie z postępem technicznym w dziedzinie swojej działalności oraz nadążać za postępem technicznym, wprowadzając nowe usługi wynikające z:

1. Rozwoju w zakresie zwiększania przewozu towarów, pasażerów, wielkości obsługiwanego obszaru, zwiększaniu szybkości pociągów, obsługi nowych obiektów, np. powstającego Centralnego Portu Komunikacyjnego.
2. Rozwoju technik użytkowania i utrzymania (eksploatacji) infrastruktury i pojazdów przez ciągłe monitorowanie krytycznych parametrów infrastruktury kolejowej (zużycie torów kolejowych, wytrzymałość mostów, wiaduktów oraz stan sieci trakcyjnej) i sprzętu ruchomego (zużycie kół pojazdów trakcyjnych, kół wagonów). W przyszłości będzie możliwa automatyczna diagnostyka i konserwacja obiektów, automatyczna ocena stanu torów kolejowych i trakcji elektrycznej, przeprowadzona na podstawie dużej ilości zebranych danych.
3. Wprowadzania nowych usług dla klientów kolei, np. dynamiczne rozkłady jazdy, sprzedaż biletów (opłaty za przejazd lub przewóz przesyłek), moni-

toring terenów przy kolei, np. place przed dworcami kolejowymi.

4. Współpracy z dużymi klientami kolei i ich systemami informatycznymi, np. porty, przewozy międzynarodowe (Jedwabny Szlak), Fizyczny Internet.
5. Rozwoju technik IT u klientów kolei, w sąsiadujących zarządach kolejowych (np. firma PKP Cargo prowadzi działalność na obszarze kilku krajów środkowo-europejskich).
6. Rozwoju technik monitorowania sieci i urządzeń IT [5].

Wymienione uwarunkowania będą miały wpływ na wielkość strumieni danych przesyłanych przez sieć teleinformatyczną. W dalszej perspektywie czasowej rozważane jest wprowadzanie systemów bezpieczniejszej jazdy pociągów przez:

- automatyczne podejmowanie decyzji o szybkości jazdy pociągów na podstawie danych pogodowych i wykrywania obiektów,
- autonomiczną jazdę, która zatrzymuje pociągi, zmniejsza prędkość lub kieruje pociągi na inne trasy w zależności od sytuacji,
- systemy wspomagania jazdy pociągów przez ciągle monitorowanie działania jednostek napędowych (energooszczędna praca, zgodność z rozkładem jazdy) [8, 9].

Z tych powodów projektowana sieć teleinformatyczna powinna być otwarta na ciągły wzrost ilości przesyłanych danych.

Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że siecią bazową na potrzeby transportu kolejowego będzie sieć pracująca zgodnie z protokołami TCP/IP, tzw. sieć „Internet of Things” (IoT). Ta sieć ma największe szanse na integrację i współpracę różnych sieci i systemów IT, zapewniając połączenia pomiędzy centrami danych zorganizowanych w modelu chmury i użytkownikami wyposażonymi w dowolne stanowiska komputerowe lub dowolne urządzenia mobilne, które będą połączone z serwerami usług przez szerokopasmowy Internet. Szczegółne ważne jest to w branży kolejowej ze względu na charakter działalności, która dotyczy całego obszaru objętego usługami i polega na przemieszczaniu środków transportu, ludzi i ładunków.

Kluczowym zagadnieniem staje się zwiększenie odporności i przeżywalności projektowanych sieci, tj. zdolności sieci do zapewnienia pożądanego jakości usług nawet w przypadku ataków (cyberbezpieczeństwo), katastrof na dużą skalę i innych awarii. Reasumując, można stwierdzić, że należy dążyć do stworzenia platformy sieci informacyjnej, która będzie integrowała różne rodzaje informacji dotyczących np. monitorowania:

- infrastruktury naziemnej,
- stanu pojazdów,

- ruchu pociągów,
- warunków jazdy pociągów,
- zapotrzebowania na moc i zasilanie,
- natężenia ruchu pasażerskiego w poszczególnych relacjach,
- planowanych konserwacji,
- danych geoprzestrzennych.

Do świadczenia przez spółki kolejowe przykładowo wymienionych usług, jest wymagana odpowiednio zaprojektowana sieć teleinformatyczna, która będzie przesyłała (z odpowiednimi parametrami) dane do systemów informatycznych niezbędne do prawidłowej pracy tych spółek, jak i do współpracy z partnerami i klientami.

4. Przesłanki do koncepcji sieci IT dla PKP

Projektowanie sieci IT powinno być kompletnym procesem, który dopasowuje potrzeby biznesowe do dostępnej technologii tak, aby dostarczyć system, który zmaksymalizuje sukces organizacji. Sieć IT dla transportu kolejowego w Polsce powinna obejmować wiele spółek, które stanowią oddzielne podmioty gospodarcze i mogą ze sobą konkurować i współpracować, dbając jednocześnie o swoje interesy biznesowe (poufność danych), korzystając bardzo często z tej samej infrastruktury. Tworząc projekt sieci IT dla transportu kolejowego, należy mieć na uwadze, że jest to „sieć sieci”, ponieważ każdy z użytkowników tej sieci będzie miał „własną” wydzieloną sieć IT z możliwością współpracy z innymi sieciami IT (kolejowymi lub publicznymi). W pierwszej kolejności powinna być opracowana logiczna koncepcja modelu sieci IT, która przedstawi podstawowe elementy składowe, podzielone według funkcji i struktury systemu, natomiast model fizyczny zobrazuje urządzenia i określone technologie oraz sposób ich wdrożenia.

4.1. Model logiczny sieci

Jak wykazuje doświadczenie, znajomość techniki IT jest różna w różnych spółkach, różne są interesy oraz wymagania poszczególnych spółek. Aby powstał model logiczny sieci, uwzględniający wymagania poszczególnych spółek, powinna być określona jednoznaczna interpretacja zagadnień, dotyczących funkcjonalności sieci i usług świadczonych przez tę sieć.

Każda spółka powinna określić lokalizację i wielkość przewidywanych strumieni danych, co najmniej na głównych dla danej spółki relacjach, typy danych, procesy i użytkowników, którzy uzyskują dostęp do danych lub wpływają na ich zmianę. Będzie to dotyczyć zarówno sieci szkieletowej danej spółki, jak również sieci lokalnych (LAN). Zebranie informacji od

przyszłych użytkowników przedmiotowej sieci IT będzie wykorzystane do opracowania wymagań i struktury przyszłej sieci IT dla transportu kolejowego w Polsce. Model logiczny sieci powinien określać odpowiednie cechy sieci takie, jak:

- wielkość strumieni ruchu w poszczególnych (podstawowych) relacjach,
- lokalizację źródeł i ujść danych oraz lokalizację baz i hurtowni danych,
- żądana przepływność łączy,
- właściwości strumieni ruchu danych (priorytety, klasy ruchu, aplikacje czasu rzeczywistego),
- wymagania dotyczące jakości usług (QoS) świadczonych przez sieć.

W celu obliczenia, czy oferowana przepływność łączy jest wystarczająca, oprócz znajomości wielkości strumieni ruchu, należy znać:

- liczbę źródeł i ujść danych,
- średni czas bezczynności stacji między wysyłanymi pakietami,
- czas wymagany do przesłania wiadomości po uzyskaniu dostępu do medium.

Jak wspomniano, faza logicznego projektowania modelu sieci zajmuje się ogólną architekturą, rozmiarami, kształtem i wzajemnymi powiązaniami sieciowymi. Projektowanie topologii sieci powinno obejmować:

- skalowalność sieci – możliwość wprowadzania nowych aplikacji, obsługę zwiększonego ruchu danych (jaki procent wzrostu ruchu musi obsłużyć projektowana sieć), możliwość rozbudowy sieci,
- dostępność – czas, przez jaki sieć jest dostępna dla użytkowników, często wyrażony jako procent czasu sprawności lub średni czas między awariami (MTBF) i średnim czasem naprawy (MTTR) [11].

Bezpieczeństwo (w zakresie *security*) jest to ochrona zdolności organizacji do prowadzenia działalności bez ingerencji intruzów, którzy w niewłaściwy sposób uzyskują dostęp do sprzętu, danych lub operacji i uszkadzają je (np. dane mogą być przechwytywane, analizowane, zmieniane lub usuwane, hasła użytkowników mogą być naruszone, mogą być zmienione konfiguracje urządzenia). Szczególnymi zagrożeniami bezpieczeństwa są następujące czynniki:

- zarządzanie – zarządzania błędami, konfiguracją, wydajnością i bezpieczeństwem [4],
- użyteczność – łatwość, z jaką użytkownicy sieci mogą uzyskać dostęp do sieci i jej usług,

- adaptacyjność – łatwość dostosowania sieci do zaistniałych usterek, zmiany wzorców ruchu, dodatkowych wymagań biznesowych lub technicznych, nowych praktyk biznesowych i innych zmian.

Istotną cechą sieci jest jej wydajność, na którą składają się następujące typowe czynniki:

- dostępne pasmo,
- przepustowość,
- wykorzystanie przepustowości,
- oferowana wielkość ruchu,
- precyzja (dopasowanie do potrzeb ruchowych),
- opóźnienie i zmiany opóźnienia,
- czasy odpowiedzi.

Na przepustowość mają również wpływ inne czynniki, jak [1, 12]:

- rozmiar pakietów,
- odstępy czasowe między wysyłanymi pakietami,
- liczba pakietów na sekundę w urządzeniach przesyłających pakiety,
- czas dostępu klienta do procesora, pamięci i HD,
- czas dostępu serwera do procesora, pamięci i HD,
- projektowanie sieci (kolejki, natłoki, opóźnienia),
- protokoły,
- odległości,
- błędy,
- pora dnia.

Stworzenie modelu logicznego sieci IT, jako bazy do stworzenia modelu fizycznego sieci², z jednej strony polega na zrozumieniu wymagań jakie stawia zamawiający, z drugiej zaś na możliwościach współczesnych sieci teleinformatycznych oraz wielkości budżetu przeznaczonego przez zamawiającego i czasu na realizację sieci. Przy projektowaniu sieci IT dla kolei w Polsce, dochodzą dodatkowe komplikacje projektowe ze względu na różną działalność spółek kolejowych – różne obszary biznesowe (np. ruch pasażerski, ruch towarowy), różne tereny działalności (przewozy regionalne, przewozy IC, działalność poza granicami kraju – PKP Cargo), różne obszary działalności (infrastruktura, przewozy, spółki branżowe – np. telekomunikacja, informatyka). Każda spółka ma własne poufne interesy, a informacje o nich muszą być dostępne tylko dla niej. Jednocześnie, spółki działające w branży kolejowej muszą ze sobą współpracować, np. PKP IC i PKP PLK. Ponadto, każda spółka ma inne wymagania dotyczące świadczonych usług w sieci. Powoduje to, że sieć teleinformatyczna dla spółek kolejowych w Polsce powinna składać się z wielu sieci

² Pod określeniem „model fizyczny sieci” należy rozumieć środowisko „hardwerowo-software”, spełniające wszystkie wymagania wynikające z modelu logicznego sieci i uwzględniające między innymi, wpływ otoczenia na jakość świadczonych usług.

logicznych, do których dostęp miałyby tylko określone spółki. Jest oczywiste, że opisane sieci logiczne powinny pracować w jednym modelu fizycznym sieci IT.

Zdaniem autora, powinien powstać zespół składający się ze specjalistów znających problematykę kolejową, informatyczną i teleinformatyczną, który opracuje zestaw i interpretacje problemów związanych z sieciami dla poszczególnych spółek kolejowych. Zespół ten powinien stworzyć, na podstawie wcześniej opracowanych ankiet, logiczne modele sieci teleinformatycznych dla poszczególnych spółek, tzw. „*Virtual Private Network*” (VPN).

Na bazie modeli sieci VPN dla poszczególnych spółek, należy stworzyć i opracować model logiczny sieci dla kolei w Polsce, który będzie kanwą do opracowania modelu fizycznego sieci IT dla transportu kolejowego w Polsce.

4.2. Model fizyczny sieci

Jak już wcześniej wspomniano, podstawą do stworzenia modelu fizycznego sieci jest model logiczny, który uwzględni wszystkie logiczne sieci poszczególnych spółek kolejowych – powstanie „logiczna sieć sieci”. W celu stworzenia fizycznego modelu sieci teleinformatycznej dla polskich kolei należy przyjąć następujące paradygmaty:

- 1) sieć teleinformatyczna dla polskich kolei będzie bazować na sieci światłowodów już ułożonych i obecnie układanych wzdłuż linii kolejowych na potrzeby sieci radiowej GSM-R (będzie to dotyczyć także nowobudowanych linii kolejowych – „szprychy” dla CPK),
- 2) w światłowodach będzie stosowana technika DWDM,
- 3) technika transmisji danych będzie realizowana w standardzie Ethernet³,
- 4) sieć będzie pracowała zgodnie z protokołami TCP/IP w wersji 5G.

Model fizyczny sieci powinien mieć następujące cechy:

- podatność sieci praktycznie na stały rozwój i zmiany,
- bezpieczeństwo sieci, czyli odpowiednie zabezpieczenie sieci przed atakami hakerów i wirusami,
- odporność sieci na awarie sprzętu i oprogramowania, uszkodzenia, błędy ludzkie, katastrofy,
- ciągłość działania po katastrofie,
- obsługa aplikacji uwarunkowanych czasowo (obsługa aplikacji czasu rzeczywistego, np. sterowanie, VoIP) [10],

oraz uwzględniać istniejące ograniczenia takie, jak:

- ograniczony budżet przeznaczony na budowę sieci,
- personel wyznaczony do budowy i eksploatacji sieci,
- ograniczony czas budowy sieci,
- „polityka” spółek w zakresie stosowania teleinformatyki.

Sieci teleinformatyczne, związane z obsługą spółek kolejowych, powinny być tak zaprojektowane, aby były one odporne, tzn. zdolne do zapewnienia požądanej usługi nawet w przypadku ataków hakerów, katastrof na dużą skalę oraz awarii. To pojęcie odporności jest zależne od przeżywalności. Przeżywalność jest to umiejętność utrzymana zdolności komunikacji w sieci mimo występowania skorelowanych niepowodzeń, które powstają na skutek ataków i katastrof na dużą skalę, a także wówczas gdy kanały telekomunikacyjne są przeciążane, zakłócone, występują nieprzewidywalne opóźnienia. Przy projektowaniu sieci należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

1. Wady w projektowaniu sieci są nieuniknione; nie można zbudować doskonałego systemu, ani też nie można zapobiec wyzwaniom i zagrożeniom, które wystąpią w czasie normalnej eksploatacji sieci.
2. Niezbędne jest zrozumienie prawidłowej pracy w środowisku, w którym sieć pracuje i wymagań poszczególnych aplikacji, które są zaimplementowane w tej sieci. To tylko dzięki zrozumieniu prawidłowego działania sieci można wnioskować, kiedy sieć jest zagrożona.
3. Należy przygotować sieć do wykrywania i ewentualnej neutralizacji zdarzeń niepożądanych, które mogą zakłócać prawidłową pracę sieci. Takie zdarzenia podczas eksploatacji sieci są nieuniknione.
4. Wymagana jest reakcja sieci na niepożądane zdarzenia (np. awarie) i zapewnienie odporności przez:
 - zapewnienie poprawności wykonania realizowanych operacji,
 - powrót do normalnej pracy,
 - diagnozowanie przyczyn źródłowych,
 - zastosowanie odpowiednich środków zaradczych [2, 12].

Według różnych opinii, odporność sieci zależy przede wszystkim od fizycznej topologii sieci. W przypadku kolejowej sieci teleinformatycznej, geograficzna topologia sieci jest związana z topologią linii kolejowych, wzdłuż których są i będą układane kable światłowodowe (prawo drogi). Ponadto, siedziby spółek kolejowych z reguły są powiązane telekomu-

³ Na sukces rozwiązań opartych na standardzie Ethernet składa się wiele czynników, m.in. łatwość implementacji, niezawodność, zdolność do przyjmowania nowych technologii oraz stosunkowo niewielki koszt implementacji.

nikacyjnie z terenami kolejowymi. W związku z tym można prognozować, że geograficzna topologia fizycznej sieci teleinformatycznej umożliwi także zbudowanie odpornej sieci teleinformatycznej dla spółek kolejowych.

5. Konstatacje

1. Stworzenie modelu logicznego sieci IT, jako bazy do stworzenia modelu fizycznego tej sieci, z jednej strony polega na zrozumieniu wymagań jakie stawia zamawiający, z drugiej zaś na możliwościach współczesnych sieci teleinformatycznych oraz wielkości przeznaczonego przez zamawiającego budżetu i czasu na realizację sieci.
2. Przy projektowaniu sieci IT dla kolei w Polsce, w porównaniu do sieci publicznych, dochodzą dodatkowe komplikacje projektowe, ponieważ ta sieć nie tylko będzie związana z zapewnieniem bezpieczeństwa pracowników, taboru i infrastruktury kolejowej, ale także z zapewnieniem bezpieczeństwa publicznego (bezpieczeństwo pasażerów na terenach kolejowych i w pociągach, bezpieczeństwo towarów przewożonych i składowanych – bezpiecznych i niebezpiecznych, bezpieczeństwo na przejazdach kolejowych).
3. Działalność spółek kolejowych jest różna – różne są obszary biznesowe (np. ruch pasażerski, ruch towarowy), różne tereny działalności (przewozy regionalne, przewozy IC, działalność poza granicami kraju), różne obszary działalności (infrastruktura, przewozy, spółki branżowe, np. telekomunikacja, informatyka).
4. Każda spółka ma własne poufne interesy, które powinny być dostępne tylko dla niej. Spółki te, działając w branży kolejowej, jednocześnie muszą współpracować ze sobą (np. PKP IC i PKP PLK).
5. Każda spółka ma inne wymagania dotyczące świadczonych usług w sieci. Powoduje to, że sieć teleinformatyczna dla spółek kolejowych w Polsce składałaby się z wielu sieci logicznych, do których dostęp miałyby tylko określone spółki. Jest oczywiste, że omawiane sieci logiczne będą pracowały na jednym modelu fizycznym sieci IT.
6. W celu stworzenia modelu fizycznego sieci, konieczne jest opracowanie modelu logicznego sieci, który uwzględni wszystkie sieci logiczne poszczególnych spółek kolejowych – powstanie „logiczna sieć sieci”.
7. Powinien powstać zespół składający się ze specjalistów znających problematykę kolejową, informatyczną i teleinformatyczną, który dla poszczególnych spółek kolejowych opracuje zestaw i interpretacje problemów związanych z sieciami. Zespół ten powinien stworzyć, na podstawie wcześniej opar-

wanych ankiet, logiczne modele sieci teleinformatycznych dla poszczególnych spółek, tzw. VPN.

8. Na bazie modeli sieci VPN poszczególnych spółek, należałoby stworzyć i opracować model logiczny sieci dla kolei, który będzie kanwą do opracowania modelu fizycznego sieci IT dla transportu kolejowego w Polsce.

6. Podsumowanie

Rozwijające się techniki i technologie IT stają się obecnie głównym i koniecznym narzędziem realizacji działalności gospodarczej. Szczególnie ważne jest wykorzystanie wszystkich możliwości techniki IT w przedsiębiorstwach o strukturze sieciowej. Do takich przedsiębiorstw należy zaliczyć prawie wszystkie spółki kolejowe, np. PKP PLK, spółki przewozowe (pasażerskie i towarowe), a także inne przedsiębiorstwa transportu szynowego i drogowego.

Transport kolejowy w Polsce powinien nadążać nie tylko za rozwojem transportu kolejowego w Europie, ale również za rozwojem innych gałęzi transportu lądowego. Jednym z warunków tego rozwoju będzie posiadanie nowoczesnych systemów teleinformatycznych (*Cloud Computing*, *Big Data*, *IoT*), które umożliwią współpracę spółek kolejowych oraz z partnerami z zagranicy, umożliwią wprowadzenie nowych usług IT dla swoich klientów i w ten sposób zapewnią im lepsze zaspokojenie ich potrzeb transportowych. W dalszej perspektywie będzie można świadczyć usługi IT dla przedmiotów prywatnych, np. dla transportu multimodalnego i drogowego, stworzyć Internet dla transportu lądowego (bezoobsługowe pojazdy szynowe, autonomiczne pojazdy drogowe), a następnie stworzyć sieć teleinformatyczną dla „Fizycznego Internetu” (PI).

Teleinformatyczna sieć dla transportu kolejowego, która jest organicznie przystosowana do współpracy z wieloma różnymi systemami IT, jednocześnie uwzględniająca europejskie trendy i standardy, powinna być podatna także na spełnienie wymogów współpracy (integracji) z sieciami sektorów gospodarki wpływających na możliwości „przeżycia” w sytuacjach kryzysowych, tj. elektroenergetyki, transportu drogowego, rynku paliw.

Dynamika transportu i współpraca z innymi instytucjami i przedsiębiorstwami powoduje, że kolej nie może odstawać od trendów światowego rozwoju w dziedzinie stosowania rozwiązań teleinformatycznych. Choćby tylko ze względów na otoczenie i współpracę z tym otoczeniem, kolej nie może być skansenem systemów IT. Polska kolejowa sieć teleinformatyczna powinna wpisywać się w kierunki rozwoju teleinformatycznych sieci kolejowych w Europie zarówno w części przewodowej, jak i bezprze-

wodowej (pasmo częstotliwości, technika) po to, aby współpracować z teleinformatycznymi systemami innych zarządów kolejowych.

Literatura

1. Bauschert T. et.al.: *Network Planning under Demand Uncertainty with Robust Optimization*, IEEE Communications Magazine Vol. 52, Issue 2, 2014.
2. Chołda P. et.al.: *Towards risk-aware communications networking*, Reliability Engineering and System Safety 109 (2013).
3. Gago S.: *Teleinformatyka w polskim kolejnictwie*, Problemy Kolejnictwa, 2018, z. 179.
4. Gago S.: *Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa w transporcie kolejowym*, Prace Instytutu Kolejnictwa, 2013, z. 159.
5. Gago S.: *Trendy w technice łączności bezprzewodowej w transporcie szynowym*, Konferencja Naukowo-Techniczna „IT w transporcie szynowym”, 05–06.10.2017 [materiały niepublikowane].
6. Gago S., Siergiejczyk M.: *Telematyka w polskim kolejnictwie*, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Najnowsze technologie w transporcie kolejowym”, Warszawa, 15–17 listopada 2017 [materiały konferencyjne].
7. Gago S., Siergiejczyk M.: *Premises for developing an IT network design for railway transport in Poland*, Part of the Advances in Intelligent Systems and Computing book series (AISC, volume 1032), WWW <https://link.springer.com/>.
8. Hiraguri S.: *Recent Research on Application of ICT for Railway*, Quarterly Report, Railway Technical Research Institute, Vol. 58, No 4, Nov. 2017.
9. Hiraguri S.: *Recent Research and Development of Signaling and Telecommunications Technologies*, Quarterly Report, Railway Technical Research Institute, Vol. 56, No 3, Aug. 2015.
10. Siergiejczyk M., Gago S.: *Wybrane problemy niezawodności i bezpieczeństwa transmisji informacji w systemie GSM-R*, Problemy Kolejnictwa, 2014, z. 162.
11. Siergiejczyk M., Pawlik M., Gago S.: *Safety of the new control command European System*, Safety and Reliability: Methodology and Applications – Nowakowski et al. (Eds) © 2015 Taylor & Francis Group, London.
12. Sterbenz J. P.G. et.al.: *Evaluation of network resilience, survivability, and disruption tolerance: analysis, topology generation, simulation, and experimentation*, Springer Telecommunication Systems Journal [preprint 2013, No 02].